



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Juhani Verkama

WÄRTSILÄ NOR -KATALYSAATTORIN REAKTORIN ERISTÄMINEN

Tekniikka ja liikenne
2012

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ville Juhani Verkama
Opinnäytetyön nimi	Wärtsilä NOR -katalysaattorin reaktorin eristäminen
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	36 + 2 liitettä
Ohjaaja	Juha Hantula

Tämä opinnäytetyö on tehty Wärtsilä Finland Oy:lle Vaasan Ecotech-tuoteyksikköön. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia NOR -katalysaattorin reaktorin eristämistä ja tehdä sille konseptiehdotus. Eristämisellä haetaan reaktorin tehokkaampaa toimintaa. Konseptiehdotusta voidaan jatkossa tarjota asiakkaalle lisäoptiona.

Opinnäytetyössä tutkittiin pintalämpötilojen määräyksiä. Määräyksen perusteella tutkittiin eristemateriaaleja ja valittiin sopiva eristemateriaali. Kokonaisratkaisuna mineraalivillalevyt osoittautuivat sopivaksi. Valitun materiaalin mukaan suunniteltiin eristekonseptin rakenneratkaisu, joka perustui SFS -standardiin. Eristekonsepti koostuu tukirakenteesta, teräsverkosta, eristeestä ja päällysteestä. Valitun rakenteen ja eristemateriaalin mukaan laskettiin teoreettinen pintalämpötila, joka osoittautui säädösten mukaiseksi. Konseptiehdotus mallinnettiin skaalautuvaksi reaktorikoosta riippumattomaksi.

Lopputuloksena saatiin standardit ja muut vaatimukset täyttävä eristekonseptiehdotus reaktoreille.

Avainsanat	eristäminen, eristysmateriaalit, katalysaattorin reaktori, määräykset, pintalämpötila
------------	---

ABSTRACT

Author	Ville Juhani Verkama
Title	The Insulation of Wärtsilä NOx reducer
Year	2012
Language	Finnish
Pages	36 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula

This thesis was made for the Product Centre Ecotech of Wärtsilä Finland Oy in Vaasa. The aim of thesis was to investigate the insulation reducer of NOR catalytic and make a concept proposal. The insulation of the reactor is applied for more efficient operation. In future the concept proposal can be provided to the customer as an additional option.

In this thesis work the regulations of surface temperatures were investigated. On the bases of the regulation insulation materials were studied and a suitable one was selected. Mineral wool plates proved to be the most suitable as an overall solution. A solution concept with selected material was designed in accordance with the SFS -standard. The concept consists of an insulating support structure, steel grid, insulation and coating. The theoretical surface temperature, which turned out to be in accordance with regulations, was calculated according to the selected structure and insulation material. The concept proposal was modeled to be scalable and thus independent of the size of the reactor.

The study resulted in a concept proposal that meets the standards and other requirements for insulating the reactor.

Keywords	insulation, insulation materials, reducer of catalytic regulations, surface temperature
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	6
2	WÄRTSILÄ JA ECOTECH -TUOTEYKSIKKÖ	7
3	WÄRTSILÄN NOR -KATALYSAATTORI.....	9
4	ERISTÄMINEN	11
	4.1 Lämpöeristäminen.....	11
	4.2 Reaktorin eristäminen	12
5	PINTALÄMPÖTILOJEN MÄÄRÄYKSET.....	13
	5.1 SOLAS -säännös.....	13
	5.2 Kuumien pintojen kosketusriskit	13
	5.3 Reaktoriin valittava pintalämpötilan määräys	14
6	ERISTEMATERIAALIT	15
	6.1 Vaihtoehtoiset eristemateriaalit	16
	6.2 Päällystemateriaalit	18
7	LÄMMÖNJOHTAVUUS JA PINTALÄMPÖTILAN LASKEMINEN	20
8	ERISTERAKENNE REAKTORIIN	22
	8.1 Eristerakenne mineraalivillalevyillä	23
	8.2 Eristerakenne ruiskutettavalle mineraalivillakuidulle.....	24
9	SUUNNITTELU	26
	9.1 Lähtötilanne	27
	9.2 Tukirakenne	27
	9.3 Kehysrakenteen teräsverkko	29
	9.4 Eriste	29
	9.5 Päällyste	30
	9.6 Kuljetuksenaikainen suojarakenne.....	31
10	SUUNNITTELUN TULOKSET	33
11	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulkujärjestö
IMO Tier 3	Kansainvälisen merenkulkujärjestön säädös vähentää typpiokseideja
NOR	Nitrogen Oxide Reducer, typpioksideja vähentävä katalysaattori
NX	Siemensin 3D-suunnitteluohjelma
PCE	Product Centre Ecotech, tuoteyksikkö Ecotech on Wärtsilän ympäristöystävällisten tuotteiden kehittämissyksikkö.
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SOLAS	Safety at Life at Sea, säännös kansainväliselle meriliikenteelle

1 JOHDANTO

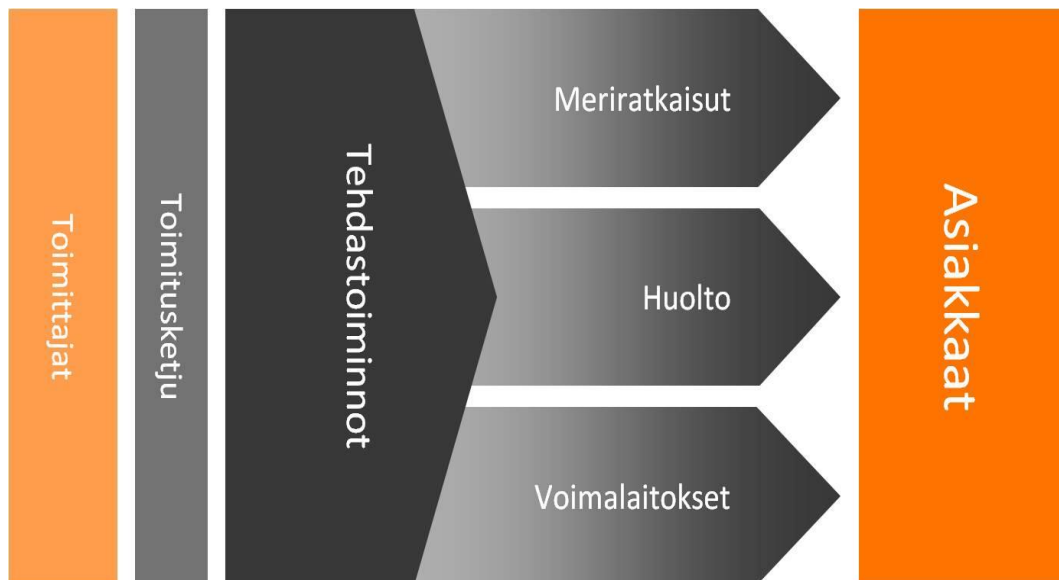
Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Wärtsilä NOR -katalysaattorin reaktorin eristämistä. Jatkossa käytetään termiä reaktori. Nykyisin reaktoria ei ole eristetty Ecotechin toimesta, vaan asiakkaan tiloissa asennuksen yhteydessä. Tulevaisuudessa eristyksen mahdollisuutta voidaan tulla mahdollisesti tarjoamaan asiakkaille lisäoptiona. Reaktorin eristäminen parantaisi typen oksidien puhdistusprosessia ja eristäminen lisäisi turvallisuutta mahdollisten kosketusten varalta.

Työn tarkoituksena on tutkia pintalämpötilojen määräyksiä ja niiden vaikutuksia eristämiseen. Määräysten perusteella valitaan sopiva eristysmateriaali ja eristyksen rakenne reaktorin päälle.

Eristysrakenteesta tehdään konseptiehdotus, joka mallinnetaan valittuun reaktorikokoon. Tässä vaiheessa eristyksen tutkimisesta ei ole tarvetta tehdä valmistuspiirustuksia. Mallinnus suoritetaan NX -suunnitteluohjelmalla.

2 WÄRTSILÄ JA ECOTECH -TUOTEYKSIKKÖ

Wärtsilä on kansainvälisesti merkittävä energiamarkkinoiden ja merenkulun voimaratkaisujen toimittaja. Wärtsilä tarjoaa huoltoratkaisut tuotteiden elinkaaren ajaksi. Wärtsilä on perustettu vuonna 1834 Tohmajärvellä, silloin Wärtsilä oli sahalaitos. Nykyään Wärtsilä on kansainvälinen yritys, joka on listattu kansainvälisessä - ja Suomen pörssissä. Yritys työllistää yli 17 500 ihmistä ympäri maailmaa ja palvelee asiakkaita ympäri vuorokauden 160 toimipisteessä 70 maassa. Suomessa Wärtsilä työllistää lähes 3 500 henkilöä neljällä eri paikkakunnalla. Vaasassa työskentelee noin 2 900 henkilöä. /15/




Kuva 1. Wärtsilän organisaatio. /15/

Wärtsilän toiminta koostuu neljästä eri organisaatiosta (**Kuva 1.**). Tehdastoiminto valmistaa ja kehittää moottoreita. Tutkimus ja kehitys ovat yksi tärkeimmistä osa-alueista tehdastoiminnoissa. Vaasassa on yksi Wärtsilän tutkimus- ja tuotekehitysyksikkö. Meriratkaisut tarjoavat voimantuottoa, energiaa, integroituja järjestelmiä ja ratkaisuja asiakkaille. Joka kolmas laiva maailman merillä kulkee Wärtsilän moottoreilla tai ratkaisuilla. Voimalaitokset tarjoavat joustavia energiaratkaisuja, jotka ovat tehokkaita ja ympäristöystävällisiä. Voimalaitokset tuottavat 1 % koko maailman sähköntuotannosta. Huolto tarjoaa huoltoratkaisuja asiakkaille missä ja milloin vain. Huolto tarjoaa myös asiakkailleen huolto- ja

palveluvalikoiman laiva- ja voimalamarkkinoilla. Nämä kaikki neljä toimintoa muodostavat yhdessä kansainvälisen Wärtsilä -konsernin. /15/

Tuoteyksikkö Ecotech (PCE) on ympäristöystävällisten tuotteiden tietotaito -yksikkö, joka kuuluu tehdastoimintojen organisaatioon. PCE toimittaa ja kehittää tuotteita, joilla pyritään vähentämään tuotteiden päästöjä ja lisäämään niiden tehokkuutta. PCE on keskittynyt myös päästöjen lainsäädäntöön ja niiden markkinoimiseen. PCE:n tuotteita ovat katalysaattorit, rikkipesurit, päästöjen valvontajärjestelmät, energiatehokkuus ja polttokennot (**Kuva 2.**). Vaasan toimipisteessä kehitetään katalysaattoreita ja valvontajärjestelmiä. Ecotechin tuotteet myydään pääsääntöisesti merenkulun asiakkaille. Ecotechin toimintaa vauhdittaa kansainväliset sopimukset, joilla pyritään vähentämään ilmansaasteita tulevaisuudessa voimalaitoksissa ja merenkulussa. /6/

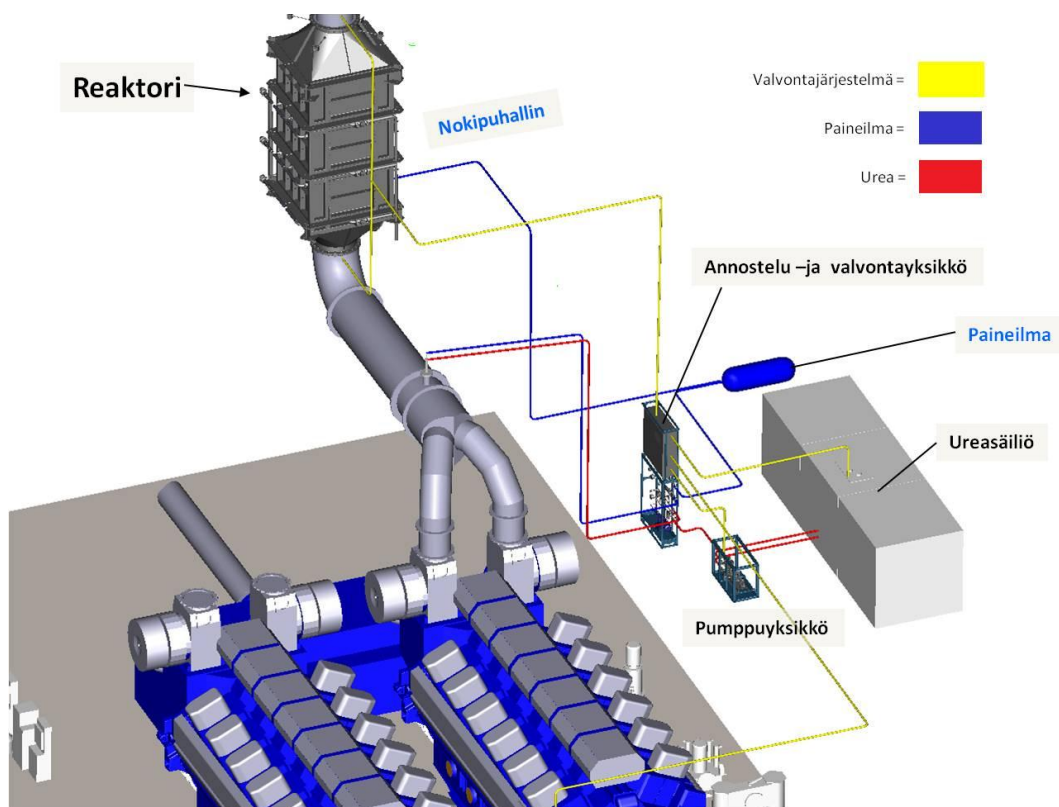
Asiakkaan tarpeet	Ecotech tarjoaa	
Päästöjen noudattaminen	Tekninen tuki ja lainsäädännön tietotaito & edistäminen	
Päästöjen laadukkuus: → NO _x , CO ja HC vähentäminen	Katalysaattorit	
Päästöjen laadukkuus: → SO _x ja PM vähentäminen	Kaasunpesulaite, rikin poisto savukaasuista & sähkösuodatin	
Päästöjen laadukkuus: → Päästöjen valvonta	Päästöjen valvontajärjestelmät	
Kokonaistaloudellisuus: → Energiatehokkuus	Energiatehokkuus	
Päästöt & tehokkuus, laadukkuus → Energiatehokkuus	Polttokennot	
Polttoaineen joustavuus: → NO _x , CO ja HC vähentäminen	Kaasumuuntaja	
Päästöjen laadukkuus: → Puhdas vesi	Vesiratkaisut	

Kuva 2. Ecotechin tuotteet, ratkaisut ja palvelukelpoisuus. /6/

3 WÄRTSILÄN NOR -KATALYSAATTORI

NOR -katalysaattori on Wärtsilän suunnittelema typpioksideja vähentävä tuote. Katalysaattorilla pystytään vähentämään yli 90 % typpioksideja. Tämä vastaa IMO Tier 3 säädökseen, minkä johdosta laivojen typpioksidipäästöjen pitää vähentyä vuoteen 2016 mennessä Itämeren ja Englannin kanaalin alueilla /6/.

NOR -tuoteperhe kattaa Wärtsilän keskinopeat moottorit pääasiallisesti merenkulun tarpeisiin. Tuoteperhe on suunniteltu skaalautuvaksi sekä toiminta- ja kustannustehokkaaksi. Katalysaattori voidaan suunnitella myös räätälöidysti asiakkaan tarpeiden mukaan. /6/



Kuva 3. NOR -katalysaattorin pääkomponentit. /6/

NOR -katalysaattori koostuu reaktorista, nokipuhaltimesta, urean pumppu- ja annosteluyksiköstä, ureasäiliöstä ja valvontajärjestelmästä (**Kuva 3.**). Reaktorin sisällä on hunajakennoelementit, missä tapahtuu varsinainen pakokaasujen puhdistus. Reaktoriin tulevaan pakokaasuun on sekoitettu ureaa, joka muuttaa

pakokaasun pääasiallisesti ammoniakiksi ja typpioksideiksi. Reaktorin hunajakennoissa ammoniakki ja typen oksidi muuttuvat vedeksi ja typeksi. Hunajakennot pidetään noesta puhtaina paineilmapuhalluksen avulla. Urean syöttömäärä säädelään valvontajärjestelmällä ja urean annostelu- ja pumppuyksiköllä. Valvontajärjestelmä on yhteydessä moottoriin ja osa syöttöyksikköä. Valvontajärjestelmällä seurataan pakokaasujen määrää ja säädelään sen mukaisesti urean syöttöä. /6/

4 ERISTÄMINEN

Teknisellä eristämällä pyritään vähentämään energiakustannuksia rajoittamalla lämpö- ja kylmähäviöitä. Samalla eristämällä pyritään säätämään lämpötiloja käyttötekniisten vaatimuksien asettamalle tasolle. Tähän kuuluu muun muassa pintalämpötilojen säätäminen työturvallisuuden ja syttymisvaaran puitteissa. Esimerkiksi vesijohtojen jäätymistä pyritään estämään oikeaoppisella eristämällä. Prosesseissa pyritään eristämään siirtoputkien, säiliöiden ja laitteiden lämpötilat tuotannon kannalta oikeisiin lämpötiloihin. Eristystä käytetään myös äänen eristämiseen ja meluntorjuntaan.

Eristäminen on jakautunut Suomessa kahteen erityisalaan, teollisuuseristämiseen ja talotekniikan eristämiseen. Teollisuuseristämisessä eristyskohteina ovat tuotantolaitokset ja voimalaitokset. Elintarviketeollisuudessa eristämisen pääpaino on kylmäeristämisessä. Talotekniikan puolella eristämisen kohteina ovat putkisto- ja ilmanvaihtojärjestelmät. Putkistoissa eristämistä tarvitaan lämmin- ja kylmävesijärjestelmissä.

Eristämisessä käytetään voimassa olevia standardeja. Suomessa on käytetty EN -standardeja Euroopan unioniin liittymisen jälkeen. Tällöin merkintä on SFS EN -standardi. SFS -standardeista löytyy voimassaolevia eristysmateriaalistandardeja. Laivanrakennuksessa on omat luokituslaitoksen antamat eristysnormit ja määräykset, joista sovitaan aluksen tilaajan ja valmistajan välillä. Nämä normit ja standardit määrittävät myös tässä työssä valittavaa eristysmateriaalia. /3/

4.1 Lämpöeristäminen

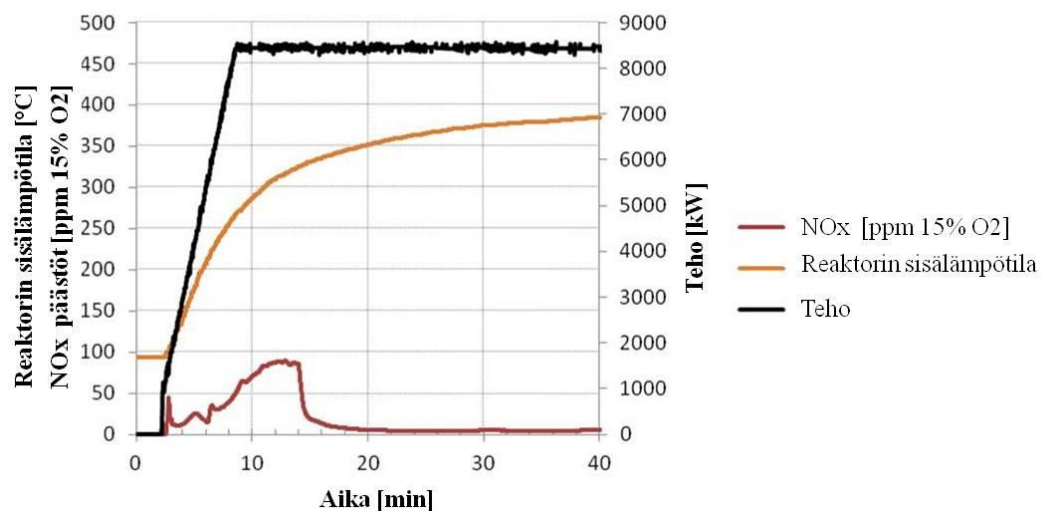
Lämpöeristämällä pyritään estämään lämmön siirtymistä eristämiskohteen ympäristöön. Lämpöeristäminen voidaan luokitella neljään erityyiseen eristämiseen: taloudellinen lämpöeristäminen, suojaeristäminen, jäätymissuojaeristäminen ja prosessitekniinen lämpöeristäminen.

Prosessiteknisessä lämpöeristämisessä tarkoituksena on pitää eristämiskohde sopivan lämpöisenä prosessin kannalta. Eristämällä pyritään aikaansaamaan oikeanlainen toimintaedellytys. Joillakin teollisuuden toimialoilla, kuten

selluloosan valmistus, öljyteollisuus ja paperiteollisuus, oikeanlaisen lämpötilan säilyttäminen on erittäin tärkeää prosessin kannalta. /3/

4.2 Reaktorin eristäminen

Reaktorin eristämistä tutkitaan eristämisestä saatujen etujen vuoksi. Katalysaattorin reaktion kannalta on parempi, jos lämpötila pysyy yli 350 - asteisena. Kuvasta 4 käy ilmi, että pakokaasun puhdistus ei ole tehokasta moottorin käynnistysvaiheessa, mikäli moottori ja reaktori ovat kylmiä. Eristäminen hidastaisi reaktorin jäähtymistä, jolloin reaktorissa olisi korkeampi alkulämpötila moottorin uudelleenkäynnistämisessä. Tällöin reaktori puhdistaisi typen oksidit tehokkaammin heti käynnistysvaiheesta lähtien.



Kuva 4. Lämpötila ja typpioksidipäästöt moottorin käynnistyksessä. /8/

Reaktorin eristämisen haittana on eristämisestä aiheutuvat lisäkustannukset. Nykyään NOR -katalysaattoria käytetään pääsääntöisesti laivoissa, joissa ylimääräistä tilaa on harvoin tarjolla. Wärtsilän mittakuvissa on suosituksena 150 mm eriste, mutta tällä hetkellä eristeen toimittaminen ei ole kuulunut Ecotechille vaan telakalle. /8/

5 PINTALÄMPÖTILOJEN MÄÄRÄYKSET

Pintalämpötiloille on säädetty turvallisuusvaatimuksia monelta eri taholta. Pintalämpötilojen vaatimuksia on säädetty EN SFS -standardeissa ja EU-direktiiveissä lisäksi merenkulussa on oma turvallisuusstandardi SOLAS. Turvallisuusvaatimus valitaan käyttökohteen ja toimintaympäristön vaatimukset täyttäväksi. Vaatimukset vaihtelet eri maissa ja esimerkiksi ydinvoimaloissa on omat erityisvaatimuksensa. Suomessa ja Euroopassa noudatetaan pääsääntöisesti EU -direktiivejä ja EN -standardeja. Merenkulussa noudetaan pääsääntöisesti SOLAS -säännöstä.

5.1 SOLAS -säännös

SOLAS -säännös koskee kansainvälistä meriliikennettä. Säännöstä ylläpitää ja säätää kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO. SOLAS -sopimus sai alkunsa Titanicin tuhon jälkeen vuonna 1914. Sopimuksen tarkoituksena on määrittää merimatkustajien turvallisuutta koskevat vähimmäisvaatimukset. /2/

SOLAS -säännöksessä on kerrottu yksiselitteisesti eristettävistä pintalämpötiloista. Pinnat, joiden lämpötilat ylittävät 220 astetta, tulee eristää asianmukaisesti. 220 asteen pintalämpötila pohjautuu yleisimpien polttonesteiden itsesyttymislämpötilaan. /7/

5.2 Kuumien pintojen kosketusriskit

Koneen ja laitteen suunnittelussa tulee huomioida mahdollinen kuumien pintojen koskettamisen riski. Kuumille pinnoille on säädetty standardi SFS EN ISO 13732-1, mistä saa vaaditut pintalämpötilat eri materiaalivaihtoehdoille. Polttava pintalämpötila riippuu siitä, kuinka kauan kuumaan pintaan ollaan kosketuksissa. Metalleilla suurin sallittu polttamaton pintalämpötila on 65 astetta. Pintalämpötilat ovat erilaiset eri materiaaleille, esimerkiksi puun polttavan kosketuksen pintalämpötila on 125 astetta. /12/

5.3 Reaktoriin valittava pintalämpötilan määräys

Nykyään NOR -katalysaattoria käytetään vain merenkulussa, joten olisi luontevaa tukeutua SOLAS -säädöksen asetettuun 220 asteen pintalämpötilan raja-arvoon. Pintalämpötilan raja-arvoa valittaessa tulee kuitenkin huomioida reaktorin sijainti. Normaalisti reaktori on sijoitettuna pystysuoraan samaan kuiluun savupiipun kanssa. Tällöin ihmisen kosketusmahdollisuus kuumaan pintaan on vähäinen. Myös tässä työssä sijoitettava reaktori sijoitetaan näin. Jos reaktori sijoitetaan vaaka-asentoon konehuoneeseen, ihmisellä on mahdollisuus päästä koskemaan kuumaa pintaa. Konehuoneeseen sijoitetuissa reaktoreissa 220 asteen pintalämpötilan raja-arvo ei ole varteenotettava vaihtoehto. Tällöin on pyrittävä mahdollisimman lähelle 65 asteen pintalämpötilaa, joka on metallien suurin sallittu polttamaton pintalämpötila.

Tämän tutkimuksen näkökulmasta SOLAS -säännös on luonteva standardi, jonka mukaan suunnitellaan eristysmateriaali ja eristyksen runkorakenne. /7, 12/

6 ERISTEMATERIAALIT

Teknistä eristämistä ei löydy historian kirjoista kovinkaan pitkältä ajalta. Tekninen eristäminen alkoi höyrykoneen kehityksen myötä Euroopassa 1800-luvulla. Tällöin materiaaleina käytettiin tuhkaa, hiekkaa, savea ja asbestia. Vasta 1900-luvulta lähtien on alettu käyttämään enemmän epäorgaanisia eristysmateriaaleja, kuten keraamisia kuituja.

Yleisimpiä lämmöneristysmateriaaleja ovat mineraalivillat, jotka tunnetaan paremmin nimillä vuori- ja lasivilla. Mineraalivillan valmistuksessa käytetään 2-4 erilaista emäksistä kivilajia. Kivilajit lämmitetään noin 1500 asteen lämpötilassa minkä jälkeen ne sekoitetaan villakammiossa villan kanssa. Näin materiaali jähmettyy villamaiseksi materiaaliksi. Mineraalivillan korkein suositeltu käyttölämpötila on 750 astetta. Mineraalivilla on palamatonta materiaalia ja siksi sitä käytetään paloeristeenä ja teollisuudessa eristysmateriaalina. Kylmäeristyksissä käytössä ovat polyuretaanivalmisteet ja solukumit.

Tavallisimmat eristemateriaalivaihtoehdot ja niiden perustiedot löytyvät SFS 3976 standardista (**Taulukko 1.**). Eristemateriaalivaihtoehtoja tutkittaessa pitää tietää tulevan eristeen käyttölämpötila. Reaktorin pintalämpötila on suuruudeltaan 300-400 astetta. Tällöin eristemateriaalin korkein käyttölämpötila olisi hyvä olla yli 600 astetta, jotta se kestää hyvin reaktorin pintalämpötilan. Materiaalin tulee myös olla palamatonta. Materiaalivalinnassa kannattaa tarkastella lämmönjohtavuusarvoja, sillä pienemmällä lämmönjohtavuusarvolla materiaalin lämmöneristävyys on parempi ilmoitetussa lämpötilassa. /3, 9/

Taulukko 1. Ote SFS 3976 standardin eristemateriaaleista. /9/

Tuote	Korkein käyttölämpötila °C	Lämmönjohtavuus W/(m.K) keskilämpötilassa					Nimellistiheys kg/m ³	Puristuslujuus kN/m ²	Palo- ominaisuus	Sulamislämpö- tila °C	Huomautuksia
		10 °C	50 °C	100 °C	200 °C	300 °C					
Lasivillalamelimatto	250	0,04	0,05	0,055	0,09		30	5	Sh1, PIII/ Ic1, SfcII	680	
Lasivillaverkkomatto	550	0,035	0,04	0,45	0,07	0,105	55	-	Palamaton	680	
Vuori- /kivivillaverkkomatto	750	0,035	0,04	0,05	0,7	0,095	80	-	Palamaton	1100	λ ₄₀₀ = 0,130
Lasivillalamelimatto	250	0,04	0,05	0,055	0,09		30	5	Sh1, PIII/ Ic1, SfcII		
Lasivillaverkkomatto, Al- folio	550	0,035	0,04	0,04	0,045	0,105	55	-	Palamaton	680	
Vuori- /kivivillaverkkomatto	750	0,035	0,04	0,05	0,07	0,095	80	-	Palamaton	1100	λ ₄₀₀ = 0,130
Vuori- /kivivillaverkkomatto	750	0,035	0,04	0,05	0,065	0,09	100	-	Palamaton	1100	λ ₄₀₀ = 0,125
Vahtolasilevy	430	0,04	0,045	0,055	0,075		120	500	Palamaton	-	
Polyuretaanivahto	120	0,04		-	-		40	-	Palava		
Metallipäällysteinen vuori-/	350	0,04		0,05	-		50	-	Palamaton	1100	
Ruiskutettava mineraalivilla	650	0,04		0,05	-		220	-	Palamaton	1100	λ ₃₁₀ = 0,100
Keraamiset kuitumatot	1200	0,035	0,04	0,04	0,05	0,07	96	-	Palamaton	1760	λ ₆₀₀ = 0,160

Vuori-/kivivillaverkkomatto (mineraalivillalevy) on hyvin yleisessä käytössä teollisuuden eristysratkaisuissa. Standardissa annettujen arvojen perusteella materiaali sopisi erinomaisesti reaktorin eristämiseen. Mineraalivillalevyn korkein käyttölämpötila, 750 astetta, on riittävä ja sen lämmönjohtavuusarvo 0,09 on pieni 300 asteen keskilämpötilassa. Materiaalin etuna on myös hyvä saatavuus eri eristemateriaalin toimittajilta, kuten Paroc ja Isover. Näiltä toimittajilta löytyy kattava valikoima teollisuuden eristemateriaalivaihtoehtoja ja -ratkaisuja. /5/

6.1 Vaihtoehtoiset eristemateriaalit

Vaihtoehtoisina eristemateriaaleina voisivat olla erilaiset ruiskutettavat eristeet ja eristemaalit tai keraamiset kuitumatot. Taulukossa 2 on vertailtu erilaisten eritysmateriaalien ominaisuuksia ja toimituskokoa sekä hieman hintatasoa. Taulukkoon on otettu vertailukohdaksi Parocin toimittama mineraalivillalevy. Yleisesti ottaen ruiskutettavat eristeet sopivat hyvin silloin, kun eristettävä pinta on monimuotoinen, kuten reaktorissa. Ruiskutettavat eristeet ovat mineraalivillalevyjä painavampia ja hinnaltaan korkeampia.

Taulukko 2. Eristeiden vertailutaulukko.

Tuote	Korkein käyttölämpötila °C	Lämmön johtavuuskerroin, λ -arvo	Nimellistiheys kg/m ³	Vaadittava eristepaksuus, mm	Toimituskoko
Ruiskutettava mineraalivilla	650	0,04	220	150	Ruiskutettava
Mineraalivilla, Paroc Pro Slab 80	750	0,034	80	150	Levy 600 * 1200 * 50 - 120 mm
SpreFix S	1100	0,039	140 - 160	150	Ruiskutettava
Aerogeeli	1200	0.03 - 0.004	3	40	Matto 10 * x mm
Temp-coat 101	220	0.074	330	-	Maali 18,9 litraa

Hyviä vaihtoehtoisia materiaaleja ovat ruiskutettava mineraalivilla (puhallusvilla) ja keraaminen kuitumatto. Puhallusvilla on ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin mineraalivilla, sen etuutena on eristeen helppo levittäminen epätasaiselle pinnalle. Puhallusvillan heikkoutena on sen korkea nimellistiheys, mikä on toiseksi korkein Temp-coat 101-tuotteen jälkeen ja huomattavasti mineraalivillalevyä korkeampi. Korkea tiheys lisää eristeen painoa, mikä voi olla haittana monessa eristyskohteessa. Puhallusvillan korkein käyttölämpötila 650 astetta, olisi riittävä reaktorin eristämiseen.

Keraamisten kuitumattojen korkein käyttölämpötila on 1200 astetta. Keraamiset kuitumatot ovat ominaisuuksiltaan parhaimmasta päästä, sillä ne kestävät useimpia happoja. Niitä käytetään ensisijaisesti kerrostetuissa eristyksissä ja niitä voidaan myös käyttää yhdessä mineraalivillan kanssa. Keraamisten kuitumattojen hinta- ja laatutaso on kuitenkin ylimitoitettu reaktorin eristämiseen. /4/

SpreFix S on ruiskutettava mineraalivillakuitu, joka soveltuu erinomaisesti lämpöeristämiseen sillä sen eristävyys on hyvä. Tuote on myös suhteellisen kevyttä ja kestää esimerkiksi mineraalivillalevyä huomattavasti korkeamman käyttölämpötilan. Sprefixin etuna on materiaalin helppo ja nopea levittäminen monimuotoiselle pinnalle, kuten reaktorissa on. Materiaali tarttuu hyvin erilaisille pinnoille eikä vaadi pinnan puhdistusta. SpreFixin hintaa nostaa sen ruiskutustyökustannukset, koska ruiskutustyön saa suorittaa vain lisenssin omaavat yritykset. Valtion rautatiet (VR) on käyttänyt tätä materiaalia jo noin 20 vuoden ajan junavaunuissa. /13/

Aerogeeli edustaa eristysmateriaalien viimeisintä teknologiaa. Se on eristävyydeltään huippuluokkaa pienen lämmönjohtavuusarvon johdosta ja on erittäin kevyt materiaali. Aerogeeliä käytetään erittäin vaativissa olosuhteissa, kuten avaruudessa, mutta myös talotekniikassa. Aerogeelin heikkoutena on korkea hinta. /1/

Eristemaaleja, kuten Temp-coat 101, käytetään melko laajasti teollisuuden eristyssovelluksissa. Maalien heikkoutena ovat alhainen lämmönkestävyys, vain 220 astetta, ja korkeahko hinta. Eristemaaleja ei varsinaisesti käytetä eristemateriaalina, vaan enemmänkin pintaeristemateriaalina. /14/

6.2 Päälystemateriaalit

Päälystemateriaalin päätarkoituksena on suojata eristemateriaalia. Suojauksella pyritään estämään mekaanisia vaurioita ja suojaamaan eristemateriaalia säältä ja korroosiolta. Päälysteellä voidaan estää myös mahdolliset eristeen aiheuttamat pölyhaitat. Pintamateriaalilla voidaan vaikuttaa eristettävän kohteen ulkonäköön. Päälysteiden valinnassa tulee huomioida materiaalin lämmönkestävyys- ja lämpösäteilyominaisuudet.

Metallilevypäälysteet ovat yleisimmin käytettyjä eristeen päälysymateriaaleja teollisuudessa. Pääasiallisesti päälysymateriaalina käytetään sinkittyä teräs- ja alumiinilevyä. Sinkki tekee materiaalista ruostumattoman ja haponkestävän. Teräs- ja alumiinilevyjä toimitetaan 0,5, 0,6, 0,7, 1,0 mm levypaksuudella. Teräslevy on noin puolet painavampaa kuin alumiinilevy. Teräslevyn sulamislämpötila on 1550 astetta ja alumiinilevyn sulamislämpötila 660 astetta. Alumiinilevyn heikkoutena ovat teräslevyn verrattuna korkeampi hinta ja alumiinin työstäminen vaatii enemmän huolellisuutta kuin teräksen. Alumiinin etuina ovat kipinättömyys, merivedenkestävyys, keveys ja ulkonäkö.

Lisäksi päälystemateriaalina voidaan käyttää muovipäälysteisiä teräslevyjä. Myös lasikuitua voidaan käyttää pintamateriaalina sekä valmiiksi päälystettyjä eristyslementtejä, joissa mineraalivilla on valmiina päälysteessä kiinni. Kyseiset vaihtoehdot ovat yleensä kalliimpia ja tällaisten eristerakenteiden kiinnittäminen

vaatii enemmän suunnittelua. Näiden materiaalien lämmönkestävyysominaisuudet ovat heikommät kuin teräksellä ja alumiinilla. /3/

Kaiken kaikkiaan alumiinilevy soveltuu hyvin reaktorin eristämisen päällysmateriaaliksi. Alumiinilevyn ominaisuudet vastaavat hyvin reaktorin toimintaympäristön ja olosuhteiden vaatimuksia. Lisäksi alumiinilaaduista 6-alkuiset kestävät hyvin korroosiota. Tämä on etu myös reaktorin eristämisessä.

7 LÄMMÖNJOHTAVUUS JA PINTALÄMPÖTILAN LASKEMINEN

Lämmönjohtavuus on luku, jolla ilmoitetaan kuinka hyvin jokin aine johtaa lämpöä. Lämmönjohtavuutta kuvataan symbolilla λ . Lämmönjohtavuuden suureena on W/Km, millä ilmoitetaan kuinka monta wattia virtaa metrin paksuisen ainekerroksen läpi. Tällöin virtaus tapahtuu vastakkaispintojen läpi ja pintojen välillä on asteen lämpötilaero. Mitä suurempi lämmönjohtavuus, sitä huonompi materiaali on eristeenä. Lämmönjohtavuus ei ole millään eristeellä vakioarvo, vaan se vaihtelee lämpötilan mukaan. /3/

Reaktorin teoreettinen pintalämpötila voidaan laskea oletetuilla arvoilla. Samalla analyttisellä laskentakaavalla, mikä löytyy SFS 3977 -standardista, voidaan valita eristemateriaalin paksuus,

$$T_e = T_0 + \frac{T_i - T_0}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda_e} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1)$$

missä

T_e Eristyksen ulkopinnan lämpötila käyttöoloissa [°C]

T_i Eristettävän kohteen sisällön lämpötila [°C]

T_0 Eristyksen ympäristön lämpötila [°C]

α_i Sisäpinnan lämmönsiirtymiskerroin [W/m²K]

α_e Ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin [W/m²K]

s Eristeen paksuus [m]

λ_e Eristeen lämmönjohtavuus keskilämpötilassa [W/mK]. /10/

Reaktoriin on suunniteltu 150 mm:n eristys, joten sitä voidaan käyttää laskennassa. Reaktorin sisälämpötilana voidaan pitää 350 astetta, mikä on keskimääräinen toimintalämpötila reaktorille. Sisä- ja ulkopinnan lämmönsiirtymiskertoimet saadaan liitteestä 1. Ulkopinnalle tulee sinkitty teräslevy alumiinista ja reaktorin sisäpinta on ruostumatonta terästä. Eristyksen ulkolämpötilana voidaan pitää 45 astetta, koska reaktori on usein sijoitettuna kuumaan paikkaan.

Valituilla arvoilla ja kaavan 1 mukaan saadaan lasketuksi,

$$T_i = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_0 = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_i = 50 \text{ W/m}^2\text{K (350 }^{\circ}\text{C)}$$

$$\alpha_e = 8,6 \text{ W/ m}^2\text{K (120 }^{\circ}\text{C)}$$

$$s = 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_e = 0,09 \text{ W/mK (300 }^{\circ}\text{C)}$$

$$\Rightarrow T_e = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Laskennallinen pintalämpötila osoittautuu sopivaksi SOLAS -säädökseen sekä EN -standardin vaatimukset täyttäväksi. Laskemalla saatu pintalämpötila 65 astetta on täysin teoreettinen arvo. Todellisuudessa lämpöä pääsee vuotamaan saumojen kohdilta, mikä nostaa todellista pintalämpötilaa. Laskennassa ei ole myöskään huomioitu tukirakenteen lämmönjohtavuutta ja kulmien lämpövuotoja.

8 ERISTERAKENNE REAKTORIIN

Reaktorin eristämisessä ja eristemateriaalin valinnassa pitää ottaa huomioon myös reaktorin materiaali ja sen ilmatiiviin eristämisen korroosiovaikutukset. Eristerakenteessa pitää huomioida reaktorin pinnan monimuotoisuus, joka aiheuttaa eristerakenteeseen haasteita. Eristekonsepti pitää olla skaalautuva kaikkiin reaktorikokoluokkiin. Rakenteen valmistuksen ja asennuksen kustannustehokkuus on myös erittäin tärkeä asia.

Taulukko 3. Eristerakenteen halutut ominaisuudet.

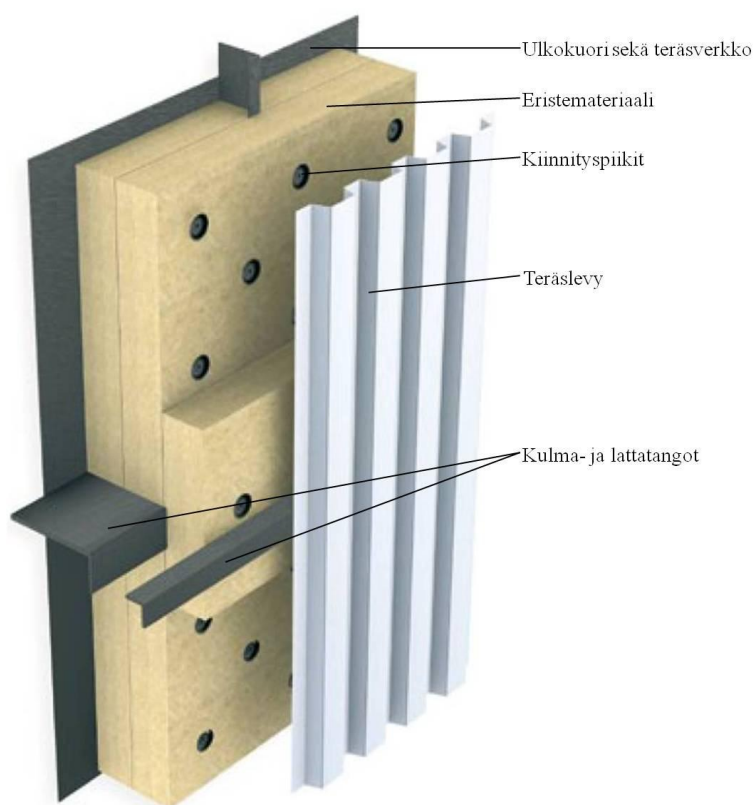
Vaatimukset suunnittelun lähtökotien kannalta					
Eristemateriaalit	Kustannukset	Määräyksiin vaadittu eristeen paksuus ja λ - arvo	Päällysmateriaali	Huoltoluukut	Suhteessa reaktorikokoon muuttuvat tekijät
Mineraalivillalevy	Eristemateriaali Tukirunko + teräsverkko Päällysmateriaali	150 mm $\lambda = 0,034$	Alumiinilevy/ Sinkitty teräslevy 0.6 mm – 1 mm	Kiinnitys Kahvat Mineraalivillalevy eristys	Mineraalivillalevy koko Päällysmateriaali Huoltoluukut Läpiviennit
Puhallusmineraalivilla	Eristemateriaali + työ Tukirunko Päällysmateriaali	150 mm $\lambda = 0,039$	Alumiinilevy/ Sinkitty teräslevy 0.6 mm – 1 mm	Kiinnitys Kahvat Mineraalivillalevy eristys	Päällysmateriaali Huoltoluukut Läpiviennit

Taulukossa 3 vertailtiin kahden parhaiten sopivinta eristevaihtoehtoja reaktoriin. Taulukon tietojen pohjalta mineraalivillalevy olisi kustannustehokkain ja skaalautuvain vaihtoehto reaktorin eristämiseen. Mineraalivillalevy on melko notkeaa materiaalia ja se pystytään asentamaan monimuotoiselle pinnalle kiinnityspiikkien avulla. Kun käytetään mineraalivillalevyä eristemateriaalina, tehdään eristerakenne kerrosrakenteiseksi. Mineraalivillalevyjen kerrosrakente mahdollistaa limittäissaumat, jolloin eristeestä tulee tiiviimpi. Tällöin päällysmateriaalina alumiinilevy toimisi parhaiten, koska alumiinin ominaisuudet vastaavat parhaiten reaktorin toimintaympäristöä ja sitä pystytään muokkaamaan helposti päällysmateriaaliksi. Puhallusmineraalivilla on varteenotettava vaihtoehto reaktorin eristämiseksi, koska se soveltuu paremmin reaktorin monimuotoiselle pinnalle. Tällöin ei tarvita erillisiä eristysten kiinnitysratkaisuja, sillä ruiskutettavalla villalla on hyvä kiinnittyvyys. Huoltoluukut tulevat erillisiksi osiksi, jotka eristetään mineraalivillalevyillä. Huoltoluukuissa olisi hyvä olla kahvat ja oma kiinnitysmekanismi päällysrakenteeseen. Suhteessa reaktorikokoon

muuttuvia tekijöitä ovat päällysmateriaali, huoltoluukut ja läpiviennit. Mineraalivillalevyä käyttäessä levyjen koko on muuttuva tekijä. Puhallusmineraalivillaa käyttäessä muuttavana tekijänä on puhallettavan villan määrä.

8.1 Eristerakenne mineraalivillalevyillä

Rakenteen suunnittelussa käytetään pohjana SFS 5744 -standardiin perustuvia ohjeita rakenteesta ja kiinnityksestä. Rakenne koostuu kerroksista, jotka ovat kehysrakenteinen teräsverkko, eristemateriaali, kiinnityspiikit, kulma- ja lattatangot kiinnitykseen ja pintamateriaali sinkitty teräslevy. Kuvassa 5 on Parocin eristyksen rakenneratkaisu, mikä on samantyylinen kuin SFS -standardiin perustuva rakenne.



Kuva 5. Parocin ratkaisu suodattimille ja kattiloille. /5/

Kehysrakenteista teräsverkkoa tulee käyttää, kun eristettävän kohteen lämpötila on yli 250 astetta. Teräsverkko on kooltaan 100 mm x 100 mm ja verkon lankojen halkaisija on 4 mm. Teräsverkko kiinnitetään kehysrakenteeseen.

Eristemateriaalina on mineraalivilla kerroksittain, ensin 50 mm eristysmatto ja tämän päällä 100 mm eristysmatto. 50 mm ja 100 mm eristysmattoja löytyy useilta eristeiden toimittajilta, (esim. Paroc.) Parocin suosittelema mineraalivillamatto on Paroc Wired Mat 80. Matto kiinnitetään kiinnityspiikeillä, joita pitää olla vähintään 6 kappaletta neliometriä kohden. Kiinnityspiikit ovat 4 mm kokoisia ja niiden kanssa käytetään 40 mm aluslevyjä.

Eristysmattoja tuetaan lattatangolla ja kulmatangolla, joita käytetään myös ulkokuoren kiinnitykseen. Latta- ja kulmatankojen koko on 30 mm x 3 mm ja ne ovat normaalia hitsattavaa terästä. Lattatankojen suurin tuentaetäisyys on 1800 mm.

Eristysrakenteen pintamateriaalina käytetään sinkittyä alumiinilevyä, jonka levypaksuus on vähintään 0,6 mm. Alumiinilevy kiinnitetään kulma- ja lattatankoihin ruuveilla. /4, 11/

Reaktorin huoltoluukuille pitää suunnitella irrotettavat eristeet. Luukut voivat olla saranoilla kiinni ulkokuoressa ja kiinnityssalvalla. Toinen ratkaisu on itsestään tiivistyvä luukku, jossa on vetokahva ja erilliset eristyslementit. Avattavien eristysluukkujen suunnittelussa tulee huomioida paino ja mahdollisimman pieni avautumistila. Pieni avautumistila on eduksi ahtaissa huoltopaikoissa.

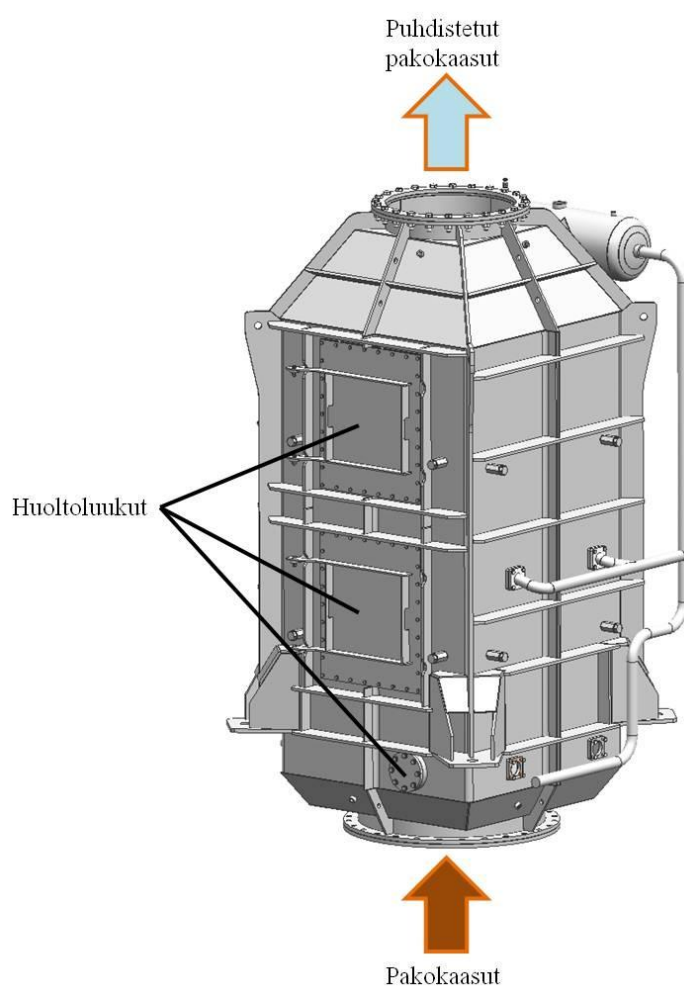
8.2 Eristerakenne ruiskutettavalle mineraalivillakuidulle

SpreFix sopisi hyväksi eristeeksi reaktoriin, kun käytetään ruiskutettavaa mineraalivillaa. SpreFixiä käytettäessä ei tarvita eristyksen kiinnitysmateriaaleja, koska ruiskutettavalla villalla on hyvä kiinnipysyvyys monella eri materiaalilla. SpreFixillä eristeen paksuus olisi 100 mm reaktorissa, koska ruiskutettavalla villalla saadaan tiiviimpi eristys reaktorin pinnalle. Pintamateriaalina käytettäisiin samaan kuin mineraalivillalevyn rakenteessa. Tällöin tarvittaisiin myös latta- ja kulmatankoja pintamateriaalin kiinnitykseen. Ruiskutettavaa villaa ei voida

käyttää huoltoluukkuihin, jotta luukkujen toiminta ei estyisi. Tällöin luukuille täytyy tehdä omat eristerakenteet, käyttäen niissä mineraalivillalevyjä. Huoltoluukkujen suunnittelu ja rakenne suoritetaan samalla tavalla kuin mineraalivillalevyjä käytettäessä. /13/

9 SUUNNITTELU

Eristeen suunnittelupohjaksi otetaan Wärtsilän suunnittelema reaktori (**Kuva 6.**). Reaktori on toimitettu asiakkaalle ja on asiakkaan käytössä. Reaktorin putkiliitokset ovat kokoa DN 1000 ja DN 700. Reaktorin tärkeimmät ulkomitat löytyvät liitteestä 2. Eristekonseptin rakenne mallinnetaan NX6.0 -ohjelmalla. Malliin suunnitellaan skaalautuva tukirakenne, eriste ja päällyste. Mallinnuksessa otetaan huomioon eristeen suunnittelun haasteet ja mahdolliset ongelmat eristeratkaisuun.



Kuva 6. Wärtsilän suunnittelema reaktori.

9.1 Lähtötilanne

Taulukossa 4 on listattu vaihtoehtoja reaktorin suunnitteluun. Lähtökohtana on vaihtoehdon 1 rakenne, mikä perustuu SFS 5744 standardiin. Tällöin Wärtsilä voi myydä standardin mukaisesti suunniteltua eristeratkaisua. Ratkaisu on turvallinen ja toimivaksi todettu teollisuudessa. Toisena vaihtoehtona on puhallusmineraalivilla, jonka eristeratkaisussa ei tarvita suojateräsverkkorakennetta ja eristettä ei tarvitse kiinnittää, jos puhallusvillaksi valitaan SpreFix. Puhallusmineraalivillan puhallusalue reaktoriin voi olla hankalampi ohjeistaa. Kolmannessa ja neljännessä vaihtoehdossa tukirakenne voisi olla kitkahitsaus tapeilla, jonka etuna on pienempi lämmönjohtavuus ja hieman keveämpi tukirakenne.

Taulukko 4. Valintataulukko reaktorin suunnitteluun.

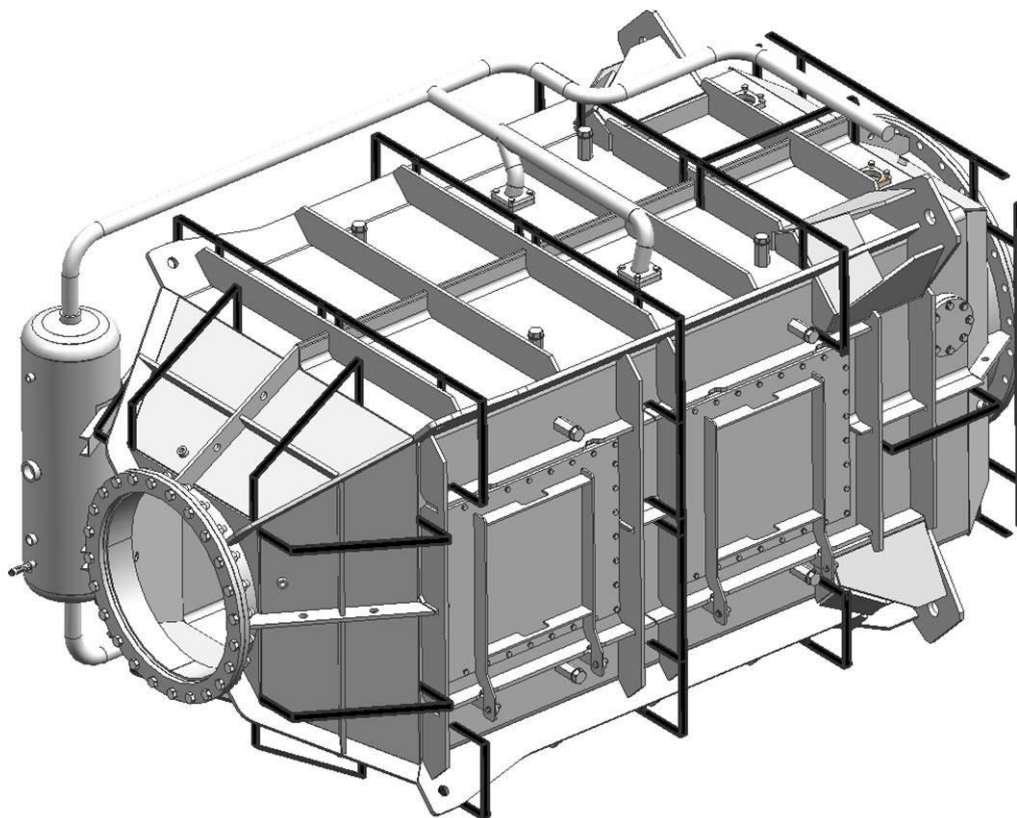
Vaihtoehdot	Eriste	Suoja	Tukirakenne	Eristeen kiinnitys	Päällystemateriaali
1	Mineraalivillalevy	Teräsverkko 100x100 Ø4	Lattatanko 3x30	Kiinnityspiikit Ø4 40mm aluslevy	Alumiinilevy 0.6mm
2	Puhallusmineraalivilla	-	Lattatanko 3x30	-	Alumiinilevy 0.6mm
3	Mineraalivillalevy	Teräsverkko 100x100 Ø4	Kitkahitsaus tapit	Kiinnityspiikit Ø4 40mm aluslevy	Alumiinilevy 0.6mm
4	Puhallusmineraalivilla	-	Kitkahitsaus tapit	-	Alumiinilevy 0.6mm

Eristekonseptirakenteeksi valitaan vaihtoehto 1, koska se perustuu standardiin ja on yleisesti käytössä teollisuudessa. Näin ollen se on turvallinen ensiratkaisu. Jatkossa ei kannata unohtaa muita vaihtoehtoja. Tulevaisuuden käytännön kokemukset ja testit antavat uutta tietoa eristekonseptin valintaan ja ehkä kannustavat kokeilemaan muita vaihtoehtoja. Lähtökohtaisesti eristekonseptin malli pyritään suunnittelemaan mahdollisimman pienellä osamäärällä, sillä se vähentää valmistamisen kustannuksia.

9.2 Tukirakenne

Tukirakenne suunnitellaan lattatangosta, joka on kooltaan 3 mm x 30 mm. Pituudet määrittyvät reaktorikoon mukaan. Tukirakenteen tarkoituksena on mahdollistaa pintapäällysteen kiinnitys ja tukea eristettä. Tankojen tuentaetäisyy-

saa olla standardin mukaan enintään 1800 mm. Rakenne kiinnitetään reaktoriin hitsaamalla, jolloin vältetään aiheuttamasta reaktoriin turhia reikiä. Rakenteen suunnittelussa pitää huomioida huoltoluukkujen aukeamistila. Kuvassa 7 on mallinnettu tukirakenne, jossa tuentaetäisyys on enintään 870 mm. Rakenteessa on hyödynnetty mahdollisimman paljon reaktorin vaipan tuentapintoja, minkä avulla kehikosta saadaan tukeva.



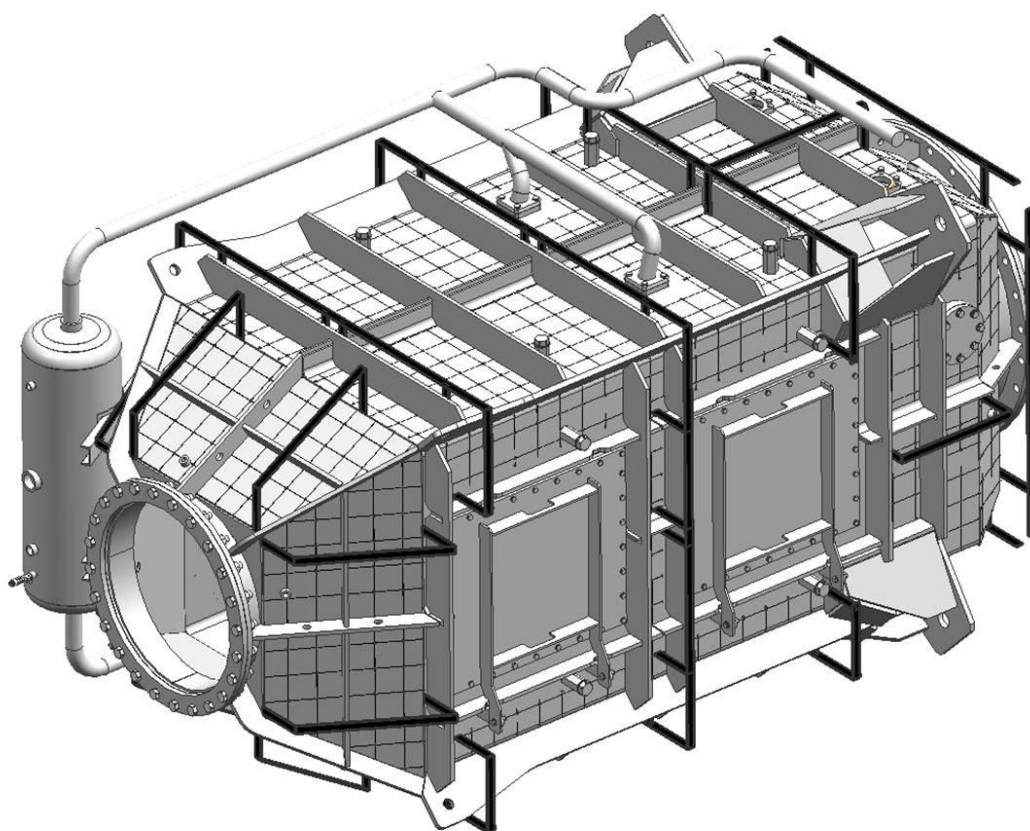
Kuva 7. Suunniteltu tukirakenne lattatangosta.

Tukirakenne pystytään suunnittelemaan hyvin skaalautuvaksi ”luurankomalliksi” reaktorin leveyttä ja pituutta hyväksikäyttäen. Luurankomalliin hidasteena on kiinnityspisteiden määrittäminen, koska pisteet eivät välttämättä ole vakioita.

Huomionarvoista tukirakenteessa on lattatangon suuri lämmönjohtavuus, jota ei ole otettu huomioon pintalämmön laskennassa. Lämmönjohtavuutta voidaan mahdollisesti pienentää kitkahitsaustapeilla. Tulevaisuudessa käytännön mittaukset antavat vastauksen asiaan.

9.3 Kehysrakenteen teräsverkko

Teräsverkkoa käytetään kehysrakenteissa silloin, kun eristettävän kohteen pintalämpötila on yli 250 astetta. Teräsverkon silmäkoko on 100 mm ja halkaisija 4 mm. Teräsverkolla saadaan reaktorin ja eristeen väliin ilmarako, mikä toimii eristeenä. Kuvassa 8 teräsverkko on mallinnettuna reaktoriin. Teräsverkon suunnittelussa tulee huomioida putkien läpiviennit ja huoltoluukut. Teräsverkko kiinnitetään reaktoriin tai tukirakenteeseen. Teräsverkon ei tarvitse olla ruostumatonta terästä vaan materiaaliksi sopii normaali hitsattava rakenneteräs.

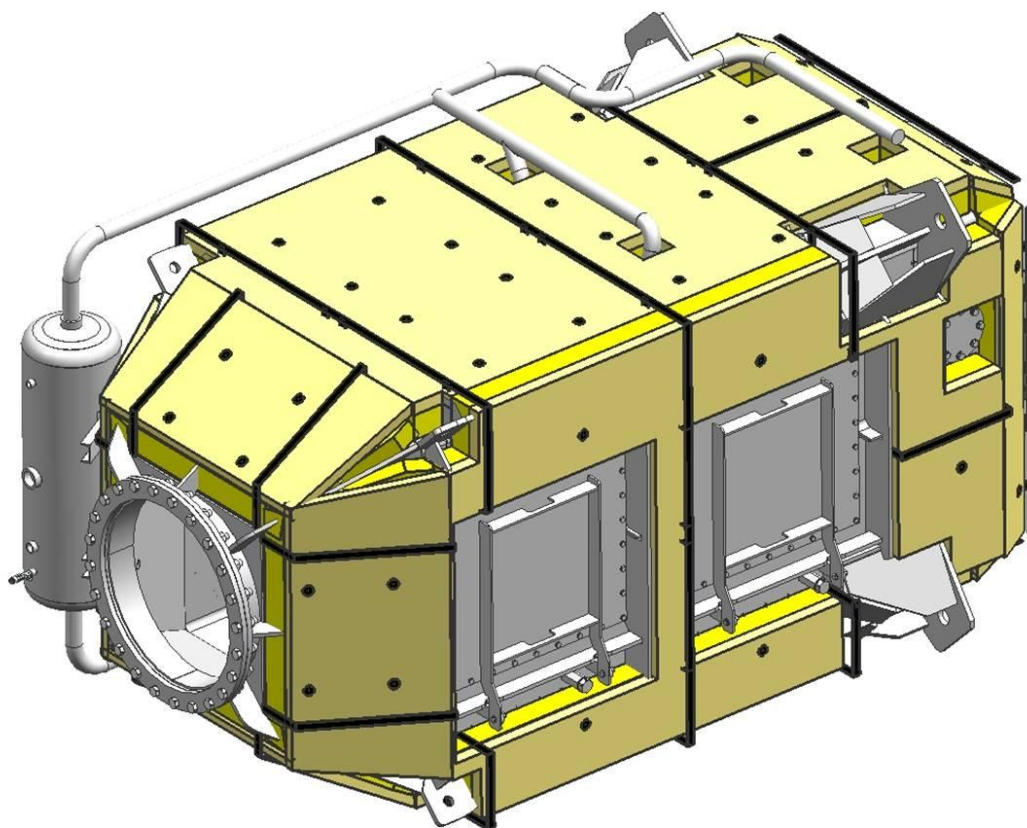


Kuva 8. Eristeen teräsverkko

9.4 Eriste

Eriste mallinnettiin mineraalivillalevyjen mukaisesti. Alimpana levynä on 100 mm mineraalivillalevy ja tämän päällä on 50 mm mineraalivillalevy (**Kuva 9**).

Mineraalivillalevyille suositellaan tueksi kiinnityspiikit, joita tulee olla vähintään 6 kappaletta neliömetriä kohden. Kiinnityspiikeissä on aina villakerroksen päällä 40 mm aluslevy, jottei villalevy repeytyisi. Kiinnityspiikit on suunniteltu kiinnitettäväksi kitkahitsaamalla reaktoriin. Suunnittelussa on huomioitu läpiviennit ja huoltoluukut, joille jätetään tarvittavan kokoiset aukot. Kulmien eristämiseen pitää kiinnittää erityishuomiota, sillä niistä tulee helpoiten lämpövuotoja.



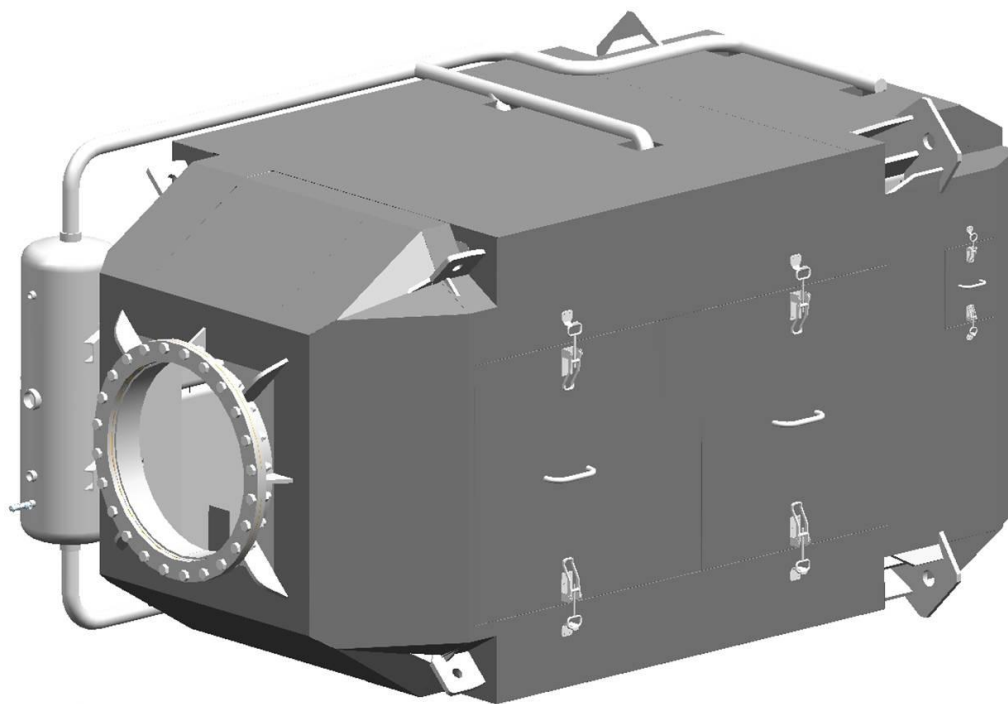
Kuva 9. Eriste ja kiinnityspiikit.

9.5 Päällyste

Päällysteen tarkoituksena on pitää eriste kuivana. Päällystemateriaalina käytetään alumiinilevyä, jonka paksuus on 0,6 mm. Reaktorin tukikannakkeet hieman hankaloittavat päällysteen mallintamista ja muotoilua, koska ne lisäävät päällysteen kulmikkuutta. Lisäksi kannakkeet lisäävät osien määrää. Päällysteen saumoja ei kannata suunnitella kulmiin, koska lämpövuoto on yleensä suurin

kulmista. Tästä syystä saumat on suunniteltu reaktorin keskelle. Päällystelevyt voidaan kiinnittää toisiinsa niittien avulla. Kokonainen päällyste kiinnitetään tukirakenteeseen ruuveilla.

Huoltoluukut on suunniteltu erillisiksi osiksi, joihin sisältyy eristeet, kahva, teräsverkko ja vipulukot (**Kuva 10.**). Luukut kiinnitetään vipulukkojen avulla. Tällöin ne saa helposti irti tarvittavien huoltotoimenpiteiden vaatiessa. Suurimmat huoltoluukut voidaan suunnitella samankokoisiksi, jolloin säästytään erikokoisilta huoltoluukulta. Pieni huoltoluukku on suunniteltu samalla tavalla kuin isommatkin. Pienempään luukkuun tosin käytetään pienempiä vipulukkoja ja kahvaa.



Kuva 10. Päällysterakenne huoltoluukkuineen.

9.6 Kuljetuksenaikainen suojarakenne

Kuljetuksenaikainen suojaaminen on tärkeää, koska sillä pystytään estämään eristeen ja päällysmateriaalin vaurioituminen. Reaktori kuljetetaan yleensä asiakkaalle vaakasuorassa asennossa, jolloin suojarakenne voisi koostua neljästä tai useammasta irrotettavasta eristerakenteen ulkopuolisesta ulokkeesta. Reaktori

asetettaisiin makaamaan ulokkeiden päälle. Ulokkeet irrotettaisiin reaktorista asennuksen yhteydessä.

Rajatun aiheen ja rajallisen ajankäytön puitteissa tähän ei voida enempää paneutua.

10 SUUNNITTELUN TULOKSET

Reaktorin eristämistä tutkittaessa kävi ilmi, että mineraalivillalevy on tällä hetkellä paras vaihtoehto eristemateriaaliksi sen hyvän hinta-laatusuhteen johdosta. Lisäksi tästä vaihtoehdosta on jo kokemuksia teollisuuden käytössä ja se täyttää pintalämpötiloille asetetut vaatimukset. Teoriassa säädösten mukainen 65 asteen pintalämpötila saadaan aikaan 150 mm eristeellä. Teoreettinen pintalämpötila saadaan laskettua SFS -standardista saadun laskentakaaavan mukaan. Toinen varteen otettava vaihtoehto on ruiskutettava mineraalivilla, joka on kokonaiskustannuksiltaan hieman villalevyjä kalliimpi. Molemmissa eristeissä tukirakenteen kiinnitysvaihtoehtoina ovat lattatangot tai kitkahitsaustapit. Lattaraudasta valmistettu tukirunkorakenne voi olla liian lämmönjohtava, jolloin rakenteeksi voidaan sen sijaan valita kitkahitsaustapeilla valmistettu runko. Yllä ehdotettu rakenne on hieman monimutkainen ja voi nostaa kustannuksia. Toisaalta tämä rakenne on kuitenkin standardien mukainen ja täten varma valinta. Yksinkertaisempi ratkaisu olisi käyttää hyväksi reaktorissa jo valmiiksi olevia tukikannakkeita ja lisäksi kitkahitsaustappeja.

Eristyksen kulmakiviä on eristyksen saaminen tiiviiksi, sillä kulmat ja liitokset sekä huoltoluukut lisäävät lämpövuodon määrää. Reaktorin tukikannakkeet aiheuttavat päällysteen muotoon monia kulmia, jotka vaikeuttavat reaktorin eristettävyyttä. Kulmien muotoon tulee kiinnittää huomioita rakenteen suunnittelussa. Hyvää eristyskykyä on pyritty lisäämään sijoittamalla eristeen päällysteen saumat reaktorin keskelle eikä kulmiin, ja huoltoluukut ovat erillisiiä vipulukkojen avulla suljettavia osia. Lisäksi eristekonseptin mallinnuksessa kävi ilmi, että reaktorin puhallusputket ovat liian matalat 150 mm eristepaksuudelle. Eristyksen vuoksi putkia pitää hieman nostaa nykyisestä korkeudesta.

Edellä esitellyistä ratkaisuista muodostuva konseptimalli on skaalautuva reaktorikoon mukaan. Tällöin mallista voidaan tehdä luurankomalli sitten kun reaktorikoot standardisoituvat. Tämä eristekonsepti hidastaa reaktorin jäähtymistä ja täten parantaa reaktorin toimintaa, sillä lämmin reaktori pystyy puhdistamaan typen oksideja tehokkaasti heti moottorin käynnistysvaiheesta lähtien.

Lisähuomiona voidaan todeta, että eristekonseptista ei kuitenkaan ole hyötyä talven pitkissä pakkasjatkossa, jolloin reaktori voi olla käyttämättä useita päiviä. Tällöin reaktorin kennot voivat jäätyä ja siksi reaktoria varten tarvitaan lämmitysjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmä voisi olla ilmapuhallus reaktorin lävitse pienemmän huoltoluukun kautta. Toisena vaihtoehtona voisi olla sähkövastuksinen lämmitysjärjestelmä reaktorin pinnalla. Lyhyiden taukojen aikana reaktorin jälkeen sijoitetulla levyluistinventtiilillä voitaisiin pitää lämpöä reaktorissa pidempään.

11 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia pintalämpötilojen lainsäädäntöä ja tehdä tämän perusteella eristekonseptiehdotus. Työssä selvitettiin lainsäädännön vaatimukset pintalämpötiloille. Pintalämpötilavaatimuksia säättävät erilaiset standardit. Reaktorin suunnittelua varten valittiin SOLAS -säännös, koska tällä hetkellä reaktori on käytössä vain merenkulussa. SOLAS -säädöksen pintalämpötila on määritelty 220 asteeksi, mikä perustuu yleisempien polttonesteiden itsesyttymislämpötilaan.

Vaaditun pintalämpötilan mukaan tutkittiin eristemateriaalivaihtoehtoja reaktorille. Materiaalivalinnassa kiinnitettiin huomiota hyvään eristävyYTEEN ja eristeen hintaan ja täten valinnassa päädyttiin mineraalivillalevyyn. Eristekonseptin rakenne suunniteltiin SFS -standardin mukaan. Eristeen päällystemateriaaliksi valittiin alumiinilevy sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Eristekonseptin rakenteen mukaan laskettiin eristetyn reaktorin teoreettinen pintalämpötila. Laskennat vahvistavat, että 150 mm eristettä riittää takaamaan reaktorille 65 asteen pintalämpötilan.

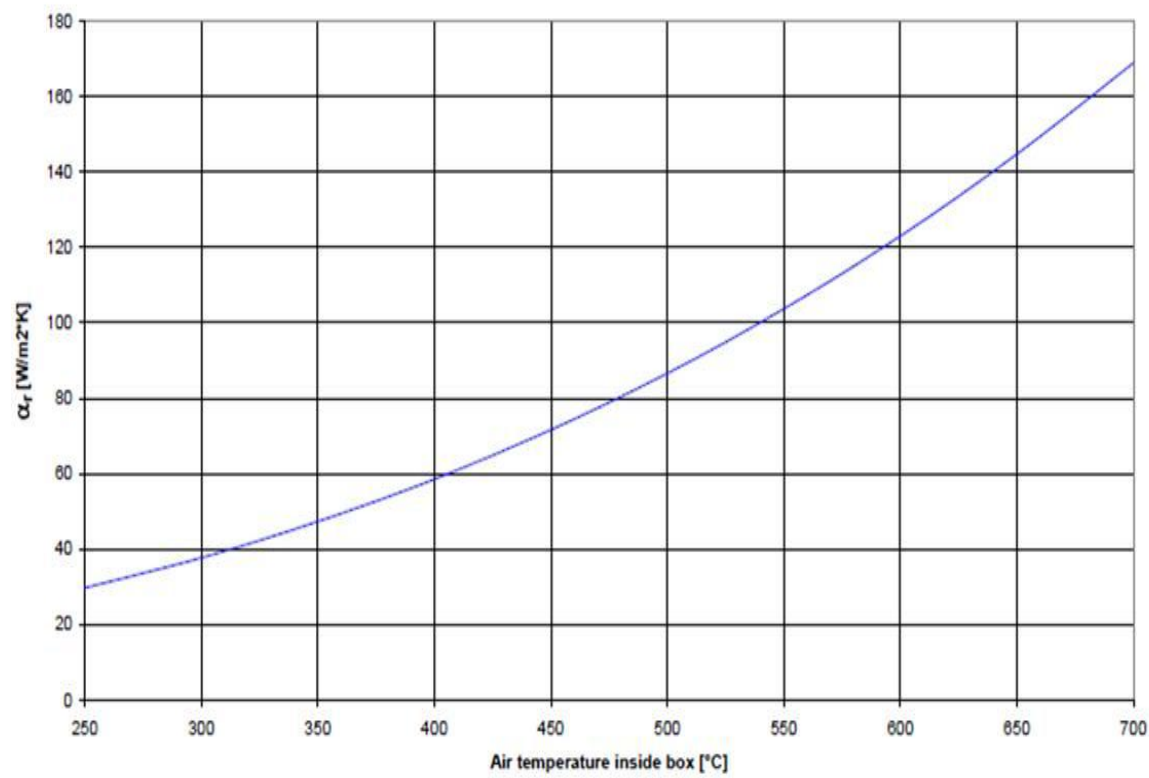
Konseptiehdotus mallinnettiin NX:llä. Mallinnuksessa kiinnitettiin huomioita mahdollisimman pieneen osamäärään kokonaiskustannusten minimoimiseksi. Mallinnuksen avulla huomattiin eristekonseptin mahdolliset haasteet ja ongelmat. Reaktorin tukikannakkeet tuovat päällysteen muodolle haasteita ja voivat lisätä lämpövuotoja. Lisäksi tukirungon lämmönjohtavuus voi olla liian suuri. Malli on kuitenkin skaalautuva reaktorikoosta riippumatta.

Työ eteni aikataulullisesti nopeasti ja sujuvasti. Lopputuloksena työlle saatiin SFS -standardin täyttävä eristekonseptiehdotus, jota Wärtsilä voi tulevaisuudessa esitellä asiakkaille lisävarusteena reaktoriin.

LÄHTEET

- /1/ Aspen aerogels kotisivu. Viitattu 6.2.2012. <http://www.aerogel.com/>
- /2/ IMO kotisivu. Viitattu 23.1.2012
[http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\),-1974.aspx](http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas),-1974.aspx)
- /3/ Mäkelä, S., Suomen Eristusyhdistys ry, Tekninen eristäminen, Helsinki, 1999
- /4/ Paroc, tekniset eristeet. Viitattu 27.1.2012.
<http://www.paroc.fi/channels/fi/technical+insulation/industry/equipments+and+fil+ters/default.asp>
- /5/ Paroc teollisuuden yritysratkaisut esite. Viitattu 27.1.2012.
http://www.paroc.com/SPPS/Finland/TI_attachments/FI_3-3_0_TI_fi.pdf
- /6/ PCE Technical presentation. Viitattu 25.1.2012.
<https://fiidm01.wnsd.com/kronodoc?action=View%20doc%20meta&tpl=simpleuldoc.tpl&project=122&currdir=1595311&selecteddocs=5747186&filename=&docversion=&lastversion=&attrname=Document-code&attroper=me&attrvalue=DBAB785470&nodelist=all&approvedversion=0&docprops=&nouserprofile=1&isaredirect=1>
- /7/ Safety of Life at Sea (SOLAS). Viitattu 23.1.2012. Intranet
- /8/ SCR start up time improvement. Viitattu 25.1.2012.
<https://fiidm01.wnsd.com/kronodoc?project=122&action=start>
- /9/ SFS 3976: 2006 Standardi, Putki-, säiliö- ja laite-eristykset. Eristeet ja eristys-elementit, Taulukko 1
- /10/ SFS 3977: 2008 Standardi, Putki-, säiliö- ja laite-eristykset. Mitoitus
- /11/ SFS 5744: 2002 Standardi, Kattilan, kanavien ja sähkösuodattimien eristykset. Lämpöeristystyön suoritus
- /12/ SFS-EN-ISO 13732-1: 2006 Standardi, Lämpöolojen ergonomia. Arviointimenetelmät pintoihin koskettamisen vaikutuksista ihmiseen. Osa 1: Kuumat pinnat.
- /13/ SpreFix kotisivu. Viitattu 6.2.2012. <http://www.sprefix.fi/>
- /14/ Temp-Coat Scandinavian Oy kotisivu. Viitattu 6.2.2012.
<http://www.tempcoat.fi>
- /15/ Tervetuloa Wärtsilään. Viitattu 25.1.2012.
<https://fiidm01.wnsd.com/kronodoc/2543/Get/5636288/W%E4rtsil%E4%20Suomessa%202011.pdf>

Heat transfer coefficient - Stainless steel inner surface



Heat transfer coefficient - Aluzink outer surface

